

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-131413  
(P2000-131413A)

(43)公開日 平成12年5月12日(2000.5.12)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 1 S	5/12	C 0 1 S	5/12
	1/02		1/02

審査請求 有 請求項の数22 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平11-295693

(22)出願日 平成11年10月18日(1999.10.18)

(31)優先権主張番号 1 7 4 1 8 2

(32)優先日 平成10年10月16日(1998.10.16)

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 598011983

ヒューズ・エレクトロニクス・コーポレーション

アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
90245、エル・セグンド、ノース・セブル  
ベータ・ブルバード 200

(72)発明者 ドナルド・シー・ディー・チャン

アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
91360、サウザンド・オークス、モベルリ  
ー・コート 2350

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

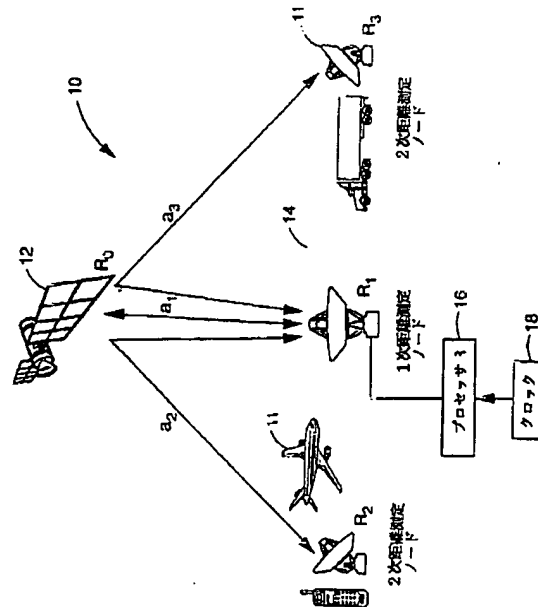
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 2方向距離測定を使用して通信衛星の位置を決定する方法およびシステム

(57)【要約】

【課題】 本発明は、地球上の既知の位置にある第1、第2のトランシーバを有する通信ネットワーク中の軌道トランシーバの位置を決定して軌道上の通信衛星の位置を決定する方法を得ることを目的とする。

【解決手段】 第1および第2のトランシーバ11、14と軌道トランシーバ12との間の第1および第2の距離測定を行い、その変化の時間的レートに対応して第1および第2の距離変化率を決定し、第1の距離測定と第1の距離変化率に基づいて軌道トランシーバ12に対する可能な位置のセットを表す交差円を決定し、その交差円は宇宙空間中の特定の方向、特定の半径、特定の中心、第1のトランシーバ14の既知の位置に関する3次元位置を含み、第2のトランシーバ11の既知の位置と第2の距離測定に基づいて交差円に沿った軌道トランシーバ12の角度位置を決定し、それらの値に基づいて軌道トランシーバの位置を決定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれ地球上の第1および第2の既知の位置にある少なくとも第1および第2のトランシーバを含んでいる通信ネットワーク中の軌道トランシーバの位置を決定する方法において、第1および第2のトランシーバは軌道トランシーバとの間の通信信号の送信および受信を行うように構成され、この方法は、第1および第2のトランシーバのそれぞれと軌道トランシーバとの間の第1および第2の距離測定を決定し、第1および第2の距離測定の変化の時間的レートに対応して第1および第2の距離変化率を決定し、第1の距離測定と第1の距離変化率に基づいて軌道トランシーバに対する可能な位置のセットを表した交差円を決定し、その交差円は、宇宙空間中の特定の方向、特定の半径、特定の中心と、第1のトランシーバの既知の位置に関する3次元位置とを含み、第2のトランシーバの既知の位置と第2の距離測定に基づいて交差円に沿った軌道トランシーバの角度位置を決定し、交差円および角度位置に基づいて軌道トランシーバの位置を決定するステップを含んでいる位置決定方法。

【請求項2】 軌道トランシーバは地球に関して静止していない請求項1記載の方法。

【請求項3】 第1および第2の距離測定の決定は、2方向距離測定を使用する第1および第2の距離測定の決定を含んでいる請求項1記載の方法。

【請求項4】 第1および第2のトランシーバのうち的一方が1次トランシーバであり、第1および第2の距離測定の決定は、

1次トランシーバから軌道トランシーバへ既知の最初の時間において距離測定信号を送信し、

軌道トランシーバから1次トランシーバと第1および第2のトランシーバのうちの他方のものへ距離測定信号を送信し、

第1および第2のトランシーバのうちの他方のものから軌道トランシーバへ応答信号を送信し、

軌道トランシーバから1次トランシーバへ応答信号を送信し、

それぞれ第1および第2の瞬時時間において、軌道トランシーバから中継されて戻された距離測定信号と、応答信号を1次トランシーバで受信し、

最初の瞬時時間と第1および第2の瞬時時間のそれぞれとの間の時間間隔を決定し、

この時間間隔に基づいて、1次トランシーバと第1および第2のトランシーバのうちの他方のものおよび軌道トランシーバとの間の第1および第2の信号路の長さを決定し、

第1および第2の信号路の長さに基づいて第1および第2の距離測定を決定するステップを含んでいる請求項3記載の方法。

【請求項5】 距離測定信号の送信は既知の最初の搬送波周波数による距離測定信号の送信をさらに含み、軌道トランシーバから中継されて戻された距離測定信号と応答信号との1次トランシーバにおける受信は、それぞれ第1および第2の搬送波周波数による軌道トランシーバから中継されて戻された距離測定信号および応答信号の受信をさらに含み、時間間隔の決定は最初の搬送波周波数および第1および第2の搬送波周波数のそれぞれとの間の周波数差の決定をさらに含み、第1および第2の信号路の長さの決定は周波数差と時間間隔に基づいた信号路の長さの変化率の決定をさらに含んでいる請求項4記載の方法。

【請求項6】 第1のトランシーバの既知の位置は第1の位置ベクトルを含み、交差円の中心の決定は、第1のトランシーバを中心とし第1の距離測定に対応する第1の半径を有する第1の球を決定し、地球の中心に関して軌道トランシーバの第1の角度速度ベクトルを決定し、

地球の中心に関して第1のトランシーバの第2の角度速度ベクトルを決定し、

差角度速度ベクトルを得るために第1と第2の角度速度ベクトルの差を決定し、

差角度速度ベクトルと第1の位置ベクトルとの正規化されたクロス乗積に対応するx単位ベクトルを決定し、

第1の球の中心を通過しx単位ベクトルに平行なラインに対応するx軸を決定し、

第1の球の中心に位置する頂点を有する距離変化率円錐を限定し、この円錐はx軸に対称に方向付けされ、x軸に関して特定の角度の表面を有し、特定の角度は1次トランシーバと軌道トランシーバとの間の信号路の長さの変化率により決定され、

第1のトランシーバの位置から特定の距離と特定の方向のx軸上に位置するように中心を決定するステップを含んでいる請求項5記載の方法。

【請求項7】 角度位置の決定において、

相互に垂直なy軸とz軸を決定し、y軸とz軸はそれぞれさらにx軸に対して垂直であり、

第2のトランシーバを中心とし、第2の距離測定に対応する第2の半径を有する第2の球を決定し、

交差円と第2の球との交差に位置する2つの解の点を限定し、

2つの解の点を含み、z軸に平行なh軸を限定し、

h軸とx-y平面との間の交差において第2の中間点を決定するステップを含んでいる請求項6記載の方法。

【請求項8】 y軸とz軸の決定において、

交差円の中心でx軸と交差し、第2のトランシーバと第3のトランシーバのうちの一方の既知の位置がx軸とy軸を含むx-y平面に位置するように方向付けされるy軸を決定し、

x-y平面と垂直で、交差円の中心でx-y平面と交差

するようにz軸を決定するステップをさらに含んでいる請求項7記載の方法。

【請求項9】 さらに第3のトランシーバを具備し、それにおいて第1および第2の距離測定の決定は第3の距離測定の決定をさらに含み、交差円の決定は第1および第2の距離測定に基づいて第1および第2のトランシーバに関する交差円の決定をさらに含み、角度位置の決定は交差円と第3のトランシーバの既知の位置と第3の距離測定に基づいた角度位置の決定をさらに含んでいる請求項1記載の方法。

【請求項10】 交差円の中心の決定において、第1のトランシーバを中心とし、第1の距離測定に対応する第1の半径を有する第1の球を決定し、第2のトランシーバを中心とし、第2の距離測定に対応する第2の半径を有する第2の球を決定し、第1および第2の球の中心を含むラインに対応するx軸を決定し、第1と第2の球との間の第2の交差円を限定し、第2の交差円を含み、x軸に垂直な第1の平面を限定し、第1の平面とx軸の交差点において第1と第2の球との間の交差円の中心を決定するステップを有する請求項9記載の方法。

【請求項11】 角度位置の決定において、相互に垂直なy軸とz軸を決定し、y軸とz軸はそれぞれさらにx軸に対して垂直であり、第3のトランシーバを中心とし、第3の距離測定に対応する第3の半径を有する第3の球を決定し、第2の交差円と第3の球との交差部分に位置する2つの解の点を限定し、2つの解の点を含み、z軸に平行なh軸を限定し、h軸とx-y平面との交差点における第2の中間点を決定し、第2の中間点の位置に基づいて2つの解の点の2つの角度位置を決定するステップを含んでいる請求項10記載の方法。

【請求項12】 通信ネットワーク中の軌道トランシーバの位置を決定するシステムにおいて、それぞれ地球上の第1および第2の既知の位置にあり、軌道トランシーバとの間の通信信号の送信および受信を行うように構成された少なくとも第1および第2のトランシーバと、第1および第2のトランシーバの1つに結合され、第1および第2のトランシーバのそれぞれと軌道トランシーバとの間の第1および第2の距離測定を決定するように動作し、それぞれ第1および第2の距離測定の変化の時間レートに対応する第1および第2の距離変化率を決定し、第1の距離測定と第1の距離変化率に基づいて軌道トランシーバに対する可能な位置のセットを表している交差円を決定するプロセッサとを含んでおり、それにお

いて交差円は、宇宙空間中の特定の方向、特定の半径、特定の中心、および第1のトランシーバの既知の位置に関する3次元位置とを含んでおり、さらに前記プロセッサは第2のトランシーバの既知の位置および第2の距離測定に基づいて交差円に沿った軌道トランシーバの角度位置を決定し、交差円および角度位置に基づいて軌道トランシーバの位置を決定するシステム。

【請求項13】 軌道トランシーバは地球に関して静止していない請求項12記載のシステム。

【請求項14】 プロセッサはさらに、第1および第2の距離測定の決定において2方向距離測定を使用して第1および第2の距離測定を決定するように動作する請求項12記載のシステム。

【請求項15】 第1および第2のトランシーバのうちの一方は1次トランシーバであり、システムはさらに、軌道トランシーバへ既知の開始時間に距離測定信号を送信する1次トランシーバと、1次トランシーバと第1および第2のトランシーバのうちの他方のものへ距離測定信号を送信する軌道トランシーバとを具備し、第1および第2のトランシーバのうちの他方のトランシーバは軌道トランシーバへ応答信号を送信し、軌道トランシーバは1次トランシーバへ応答信号を送信し、

1次トランシーバはそれぞれ第1および第2の瞬時時間において、軌道トランシーバから中継されて戻された距離測定信号と応答信号とを受信し、プロセッサはさらに最初の瞬時時間と各第1および第2の瞬時時間との間の時間間隔を決定し、その時間間隔に基づいて、1次トランシーバと第1および第2のトランシーバのうちの他方のものと軌道トランシーバとの間の第1および第2の信号路の長さを決定し、第1および第2の信号路の長さに基づいて第1および第2の距離測定を決定するように動作する請求項14記載のシステム。

【請求項16】 1次トランシーバはさらに距離測定信号の送信において、既知の最初の搬送波周波数で距離測定信号を送信するように動作し、軌道トランシーバから中継されて戻された距離測定信号と応答信号の受信において、それぞれ第1および第2の搬送波周波数で、軌道トランシーバから中継されて戻された距離測定信号と、応答信号とを受信するようにさらに動作し、プロセッサは、時間間隔の決定においてさらに最初の搬送波周波数と第1および第2の各搬送波周波数との間の周波数差を決定することを含み、第1および第2の信号路の長さの決定において周波数差と時間間隔に基づいて信号路の長さの変化率を決定するようにさらに動作する請求項15記載の方法。

【請求項17】 第1のトランシーバの既知の位置は第1の位置ベクトルを含み、プロセッサは交差円の中心の決定において、第1のトランシーバを中心とし第1の距

離測定に対応する第1の半径を有する第1の球を決定し、地球の中心に関して軌道トランシーバの第1の角度速度ベクトルを決定し、地球の中心に関して第1のトランシーバの第2の角度速度ベクトルを決定し、差角度速度ベクトルを得るために第1と第2の角度速度ベクトルの差を決定し、差角度速度ベクトルと第1の位置ベクトルとの正規化されたクロス乗積に対応するx単位ベクトルを決定し、第1の球の中心を通りx単位ベクトルに平行なラインに対応するx軸を決定し、第1の球の中心に位置する頂点を有する距離変化率円錐を限定し、その円錐はx軸に対称に方向付けされ、x軸に関して特定の角度の表面を有し、この特定の角度は1次トランシーバと軌道トランシーバとの間の信号路の長さの変化率により決定され、第1のトランシーバの位置から特定の距離と特定の方向のx軸上に位置するように中心を決定するように動作する請求項16記載のシステム。

【請求項18】 プロセッサは角度位置の決定において、相互に垂直なy軸とz軸を決定し、y軸とz軸はそれぞれさらにx軸に対して垂直であり、第2のトランシーバを中心とし第2の距離測定に対応する第2の半径を有する第2の球を決定し、交差円と第2の球との交差部分に位置する2つの解の点を限定し、2つの解の点を含みz軸に平行なh軸を限定し、このh軸とx-y平面との間の交差において第2の中間点を決定するようにさらに動作する請求項17記載のシステム。

【請求項19】 プロセッサはy軸とz軸の決定において、交差円の中心でx軸と交差し、第2のトランシーバと第3のトランシーバのうちの一方の既知の位置がx軸とy軸を含むx-y平面に位置するように方向付けされたy軸を決定し、x-y平面と垂直で、交差円の中心でx-y平面と交差するようにz軸を決定するようにさらに動作する請求項18記載のシステム。

【請求項20】 第3のトランシーバをさらに具備し、軌道トランシーバは地球に関して静止し、プロセッサは第1および第2の距離測定の決定において、第3の距離測定をさらに決定し、交差円の決定において、第1および第2の距離測定に基づいて第1および第2のトランシーバに関して交差円を決定するようにさらに動作し、角度位置の決定において、交差円と第3のトランシーバの既知の位置と第3の距離測定に基づいて角度位置を決定するように動作する請求項12記載のシステム。

【請求項21】 プロセッサは、交差円の中心の決定において、第1のトランシーバを中心とし第1の距離測定に対応する第1の半径を有する第1の球を決定し、第2のトランシーバを中心とし第2の距離測定に対応する第2の半径を有する第2の球を決定し、第1および第2の球の中心を含むラインに対応するx軸を決定し、第1と第2の球の間に第2の交差円を限定し、第2の交差円を含みx軸に垂直な第1の平面を限定し、第1の平面とx軸の交差において第1と第2の球との間に交差円の中心

を決定するようにさらに動作する請求項20記載のシステム。

【請求項22】 プロセッサは、角度位置の決定において、相互に垂直であり、それぞれさらにx軸に対して垂直であるy軸とz軸を決定し、y軸とz軸は第3のトランシーバを中心とし、第3の距離測定に対応する第3の半径を有する第3の球を決定し、第2の交差円と第3の球との交差部分に位置する2つの解の点を限定し、2つの解の点を含みz軸に平行なh軸を限定し、このh軸とx-y平面との間の交差点において第2の中間点を決定し、第2の中間点の位置に基づいて2つの解の点の2つの角度位置を決定するようにさらに動作する請求項21記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は多数のトランシーバにより2方向距離測定を使用して通信衛星の位置を決定する方法およびシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】 グローバルポジショニングシステム (GPS)、広域拡大システム (WAAS) または GLONASS のような現在の自動依存監視 (ADS) 技術は衛星送信を使用して位置決定情報を提供する。例えば米国防衛省により開発され、配備された GPS は 12,000 マイルの高度で 1 日に 2 回地球の周囲の軌道を周回する 24 の衛星と、衛星コンステレーションを監視し管理する 5 つの地上局からなる。原子時計と位置データを使用して、GPS 衛星は連続的に時間と位置情報を一日に 24 時間 GPS 受信機へ送信し、GPS 受信機は一度に 4 以上の衛星を聴取し、ユーザ位置を決定する。衛星信号の送信と受信の時間間隔の測定によって、GPS 受信機はユーザと各衛星との間の距離を計算し、少なくとも 4 つの衛星の距離測定を使用して位置に到着する。

【0003】 しかしながらこのようなシステムは 1 方向距離測定を使用し、そこでは正確な同期化クロックが各局で必要とされる。任意の同期化エラーまたは衛星の内の 1 つに関するエラーはターゲットビークルの決定された位置にエラーを生じる。

【0004】 任意のタイプの衛星ベースのナビゲーションシステムはその距離測定の位置および速度を非常に高い正確性で決定しなければならない。位置および速度決定はナビゲーションシステムの一部ではない衛星でも任意の衛星に対する局維持機能の非常に重要な部分である。

【0005】 1 つの既知のシステムは、位置情報を得るために衛星がその全ての地上局と同時的な接触を取ることを必要とする。しかしながらこれは、地球に関して移動する非静止軌道の衛星には常に可能ではなく、それ故、周期的に地上面の所定点のアクセスが失われる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の目的は2方向距離測定を使用して通信衛星の位置を決定する方法およびシステムを提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の前述およびその他の目的、特徴、利点を実行するため、それぞれ地球上の第1および第2の既知の位置にある少なくとも第1および第2のトランシーバを含んでいる通信ネットワーク中の軌道トランシーバの位置を決定する方法が提供される。第1および第2のトランシーバは軌道トランシーバとの間の通信信号の送信および受信を行う。この方法は第1および第2のトランシーバのそれぞれと軌道トランシーバとの間の第1および第2の距離測定を決定することを含んでいる。この方法はさらに、それぞれ第1および第2の距離測定の変化の時間速度に対応して第1および第2の距離変化率を決定することを含んでいる。この方法はまた、第1の距離と第1の距離変化率に基づいて軌道トランシーバに対する可能な位置のセットを表した交差円を決定することも含んでおり、交差円は、宇宙空間中の特定の方向、特定の半径、特定の中心と、第1のトランシーバの既知の位置に関する3次元位置とを含んでいる。さらに、この方法は第2のトランシーバの既知の位置と第2の距離測定に基づいて交差円に沿った軌道トランシーバの角度位置の決定を含んでいる。最後に、この方法は交差円および角度位置に基づいて軌道トランシーバの位置決定を含んでいる。

【0008】本発明の前述およびその他の目的、特徴、利点を実行するため、前述の方法のステップを実行するシステムが提供されている。システムはそれぞれ地球上の第1および第2の既知の位置にある少なくとも第1および第2のトランシーバを含んでいる。第1および第2のトランシーバは軌道トランシーバとの間の通信信号の送信と受信を行う。第1および第2のトランシーバに結合されているプロセッサは第1および第2のトランシーバのそれぞれと軌道トランシーバとの間の第1および第2の距離測定を決定するように動作する。プロセッサはさらに、それぞれ第1および第2の距離測定の変化の時間速度に対応する第1および第2の距離変化率を決定するように動作する。さらにプロセッサは第1の距離測定と第1の距離変化率に基づいて軌道トランシーバに対する可能な位置のセットを表した交差円を決定するように動作し、それにおいて交差円は、宇宙空間中の特定の方向、特定の半径、特定の中心、および第1のトランシーバの既知の位置に関する3次元位置とを含んでいる。さらに、プロセッサは第2のトランシーバの既知の位置および第2の距離測定に基づいて交差円に沿った軌道トランシーバの角度位置を決定する。最後に、プロセッサは交差円および角度位置に基づいて軌道トランシーバの位置を決定する。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明の前述およびその他の目的、特徴、利点は添付図面を伴った以下の本発明を実行する最良のモードの詳細な説明から容易に明白であろう。図1は本発明を実行する典型的な形態の通信システムを示している。参照符号10で示されたこのシステムはターゲット通信衛星12を含んでおり、その位置( $R_0$ と示される)が決定される。図1のシステム10はまた $R_1$ で示された位置にある衛星地上局のような1次距離測定ノード(RN)14と、位置 $R_2$ と $R_3$ にある2次距離測定ノード11とを含んでいる。位置 $R_4$ 、 $R_5$ 等にあるその他の多数の2次RNも存在してよい。これらの付加的なRNは図1では示されていないが、これらの動作モードは $R_2$ 、 $R_3$ におけるRNに対して説明した動作モードと同一である。2次RNは本発明の動作中に静止している限り、例えば自動車、移動体電話、航空機等のようなトランシーバを含んでいる任意の装置であってもよい。図1で示されているように、 $R_0$ にある衛星と、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ にある全てのRNの間の距離は $a_i = |R_i - R_0|$ であり、ここで $i > 0$ である。

【0010】例えば、停留中の商用定期旅客機は2次RNとして動作することができる。商用定期旅客機が空港のゲートに駐留されているとき、そのパイロットは航空機の正確な位置を機上のナビゲーションシステムに入力する。この情報は慣性ナビゲーションシステムがドリフトおよび累積された位置エラーを補正することを可能にする。飛行機がゲートに駐留している限り、その位置は高い正確性で知られている。飛行機に適切なトランシーバが装備されているならば、位置 $R_2$ または $R_3$ の2次RNとして動作することができる。多数の航空機がこのように装備され、これらのうちの可成のものが所定の時間にゲートに駐留されているならば、 $R_0$ にある衛星12は $R_2$ 、 $R_3$ のこれらの駐留された飛行機をRNとして使用することができる。

【0011】 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 等のRNは位置 $R_0$ にある衛星12によりメッセージを中継することによって相互に通信する。本発明の動作中、1次RN14は2つの異なる種類の信号、即ち衛星12により放送された距離測定コードと、衛星12により中継されるが2次RN11で発生した応答コードを受信する。 $R_1$ にある1次RN14に位置するプロセッサ16は2つのタイプの信号を弁別し、衛星12の位置決定に必要な計算を行う。

【0012】衛星12の位置は以下の連続したステップにしたがって決定される。最初に、正確な測定時間と正確な測定搬送波周波数で、 $R_1$ にある1次RN14は距離測定信号を $R_0$ にある衛星12に送信し、衛星12はこれを $R_1$ にある1次RN14と $R_2$ 、 $R_3$ 等にあるRN2次RNを含む全てのRNに放送する。2次RN11はその後、異なる応答コード信号を衛星12へ送信して戻し、1次RN14へ戻す。距離測定および応答コード信号を受信するとすぐに、1次距離測定ノード14( $R_1$ )のプロセッサ16

は距離測定信号の搬送波周波数と到着時間を測定する。これはその後距離測定コードの到着時間と、1次距離測定ノード14からの最初の送信時間との差を計算する。この時間差は $t_{p1}$ として示される伝播時間であり、 $R_1$ の1次RN14から $R_0$ にある衛星と $R_1$ へ戻る距離測定信号の送信距離に関連する。 $D_1$ で示されるこの距離は $2a_1$ に等しい。プロセッサ16はまた受信された応答コード信号の搬送波周波数と、最初に送信された距離測定コードの搬送波周波数の差を測定する。以下説明するようにその周波数差から、プロセッサはドップラ周波数シフトを計算する。

【0013】プロセッサの計算の説明を続ける前に、2次RN11を通過する信号に対して行われる測定について説明する。前述したように、距離測定コードを受信するとすぐに、位置 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ などの位置にある2次RN11はそれぞれ応答距離測定信号を $R_0$ にある衛星12を経て $R_1$ にある1次RN14へ送信する。これらの応答信号は、これらが応答する特定の距離測定コードと、これらが送信される2次RN11とをユニークに識別するように設計されている。 $R_1$ にあるプロセッサ16は特定の応答コードを開始する2次RN11の位置 $R_i$ を決定することができ、 $R_i$ は全ての既知の2次RN位置 $\{R_2, R_3, \dots\}$ のセットの素子である。プロセッサ16はまた各応答信号の到着時間を測定し、その時間と、応答信号を導出した距離測定コードの1次距離測定ノード14からのものと送信時間との差を計算する。この差は伝播時間 $t_{pi}$ として示される。したがって、 $R_2$ 、 $R_3$ などにある2次RNとの往復通信の測定時間はそれぞれ $t_{p2}$ 、 $t_{p3}$ 等として示される。

【0014】図1を再度参照すると、 $i > 1$ に対する伝播時間 $t_{pi}$ と関連する通路が、 $t_{pi}$ および $D_i$ と関連する通路と異なる形態であることが分かる。 $i > 1$ では、 $D_i$ は $R_1$ にある1次距離測定ノード14から $R_0$ にある衛星12と、さらに $R_i$ にある2次距離測定ノード11、戻って $R_0$ にある衛星12と、 $R_1$ にある1次距離測定ノード14までの通路の長さである。第1の近似では、 $i > 1$ に対して $D_i = 2(a_i + a_1)$ である。この式は、信号が $R_0$ から $R_1$ へ、そして $R_0$ へ戻る時間中に衛星12が移動する事実を無視しているので単なる近似である。実際には、衛星12は、最初の距離測定信号を $R_1$ から $R_0$ へ中継するときと応答信号を $R_i$ から $R_1$ へ戻して中継するときとは異なる位置にある。この影響を補正することができるが、明白にするために、システムに関する本発明の説明ではこれを無視するが、最終的な実行では無視しない。

【0015】1組の周波数シフトと伝播時間測定を最初に1組の通路の長さ( $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 等)に変換し、それから1組の距離( $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 等)に変換し、衛星12の最終的に3次元ベクトル位置に変換する。伝播時間の測定は電磁波が前に示した通路を伝播する時

間と、メッセージの電子的検出および再送信に関する遅延時間とを含んでいる。これらの時間間隔は全て $R_i$ の単一クロック18で測定され、それ故、 $R_2$ 、 $R_3$ 等の2次RNはクロックを必要とせず、図1で示したシステムはグローバル位置決定システム(GPS)のようなクロックバイアスエラーがない。

【0016】[信号遅延時間および距離]各測定された伝播時間 $t_{p1}$ 、 $t_{p2}$ 、 $t_{p3}$ 等に対応する通路では、 $R_1$ におけるプロセッサ16は全てのトランシーバの時間遅延 $t_{d1}$ の評価と、通路に沿った対流圏および電離層伝播を計算する。対応する遅延時間 $t_{d1}$ 、 $t_{d2}$ 、 $t_{d3}$ 等はトランシーバ間の対応する距離の計算に使用される。

【0017】電離層および大気圏は、信号を真空中の光の速度よりも低速度にする信号路の2つの要素であり、 $C = 299,792,458$ メートル/秒として規定される。遅延時間 $t_{di}$ は、 $i$ 番目の通路を通る信号の伝播時間から、電磁波が完全な真空中で同一の長さの通路を通過するのに要する時間を減算したものと定められる。 $D_i$ が $i$ 番目の通路の長さであるならば、 $D_i = c(t_{pi} - t_{di})$ である。遅延時間は電離層、大気圏、送信機、受信機等による多数の要素の合計であり、負ではない。

【0018】大気圏および電離層信号遅延は徹底的に研究されており、遅延時間のこれらの要素を予測できる数学モデルが構成されている(例えば、Black, H. D., "An Easily Implemented Algorithm for the Tropospheric Range Correction", JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH、83巻、no. B4、1825頁(1978年)および、電離層効果に関してはKlobuchar, J. A., "Design and Characteristics of the GPS Ionospheric Time Delay Algorithm for Single Frequency Users", IEEE PLANS、1986年、Position Location and Navigation Symposium、ラスベガス、NV、1986年11月4日、280頁)。

【0019】電離層は時間にわたってより多くのラジカル変化を受けるので、電離層遅延は対流圏の遅延よりも高い正確性で予測することが難しい。特定の応用が最高の可能な正確性を要求するならば、システム10は電離層伝播遅延を決定するために固定した数学モデルよりも付加的な測定に依存する。その遅延は無線搬送波周波数の2乗に反比例し、これは位置および時間により変化するので、異なる地上基準点および/または異なる搬送波周波数による往復信号伝播時間の付加的な測定は、正確性が最高の距離測定に必要とされる連続的な電離層測定を行う。多数の2次RNの有効性は、電離層、対流圏特性と、通信通路の信号遅延のその他のソースの決定に使用されることができ付加的な情報を与える。本発明は非常に少数のRNまたは往復距離測定局を含んだシステムよりも正確に、対流圏および電離層信号の伝播遅延を変化する時間を補償することができる。

【0020】システムのアンテナ、送信機、受信機を

むその他の遅延ソース（多通路等を含む）は同様に評価される。 $i$  番目の通信路に関する全ての評価された時間遅延は評価され、共に合計されて、評価された総時間遅延  $t_{di}$  を発生する。全てのこのような時間遅延  $t_{d1}$ 、 $t_{d2}$ 、 $t_{d3}$  等は、式  $D_i = c(t_{pi} - t_{di})$  によって対応する通信路の長さ  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  等の計算に使用される。

【0021】 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  等に基づいて、システム10は式  $a_i = D_i / 2$  および  $a_i = (D_i - D_1)$  等によって距離  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  等を計算する。前述したように、距離測定信号の放送と応答信号の中継との間の時間間隔中の衛星12の移動によって最終的な実行はこれらよりも複雑な式を含んでいる。ここでは説明を簡単にするため補正は省略する。プロセッサ16はその後、これらの距離とRN14、11の既知の位置（ $i > 0$ では $a_i$ と $R_i$ ）を使用して、以下説明する2つの手順のうちの一方の処理手段により衛星位置 $R_0$ を計算する。

【0022】衛星12の（3次元）ベクトル位置を決定する2つのアルゴリズム、即ち3以上の地上トランシーバを含んでいる距離測定を使用した“3つの球アルゴリズム”と、ただ2つの地上トランシーバからの距離測定を使用する“距離および距離変化率アルゴリズム”を導く。“距離変化率”は距離の変化の時間レート（ $da_i/dt$ ）を表し、距離測定の時間シーケンスと、無線信号のドップラ周波数シフトの測定の組み合わせから導出され、これは以下簡単に説明する。距離および距離変化率アルゴリズム”は静止軌道にない衛星にのみ適用され、“Three Range Algorithm”は静止または非静止衛星に適用される。

【0023】[ドップラ周波数シフト] 位置 $R_1$ にある送信機が搬送波周波数 $f_1$ の無線信号を、近付くまたは遠ざかる位置 $R_0$ にある受信機に送信したならば、受信機はドップラ効果のために異なる周波数 $f_0$ の信号を検出する。ドップラ周波数シフトの大きさは半径方向速度に依存し、これは $v_r$ として示し、送信機と受信機の距離の変化の時間的割合に等しい。送信機に関する受信機の速度が大きすぎて光速よりも非常に小さいならば、次式で概算される。

【0024】 $f_0 / f_1 = 1 - v_r / c$   
別の信号が周波数 $f_0$ で $R_0$ から $R_1$ へ戻すように送信されるならば、ドップラシフトは合成され、それによって $R_1$ で検出された周波数は次式のようになり、 $f_{11} = f_0(1 - v_r / c) = f_1(1 - v_r / c)^2$   
これは近似的に次式のようになる。

【0025】 $f_{11} = f_1(1 - 2v_r / c)$   
ドップラ周波数シフト（ $f_d$ ）は往復後に点1で受信された周波数 $f_{11}$ と、点1から最初に送信された信号の周波数との差であり、これは $f_1$ であり、それ故、 $f_d = f_{11} - f_1 = -2f_1 v_r / c$ である。

【0026】それ故、ドップラシフト測定は半径方向速

度の測定を行う。

$$【0027】v_r = -c f_d / (2 f_1)$$

この情報は以下説明するように軌道決定に貢献する。

【0028】[幾何学形状] 本発明では、1組のスカラ測定を衛星12のベクトル位置へ変換するために使用されることができる2つのアルゴリズムを与える。“3つの球”位置決定アルゴリズムは未知の位置（ $R_0$ で示す）のトランシーバと、1組の3以上のRNとの間の往復信号伝播を使用する。“距離および距離変化率”位置決定アルゴリズムは $R_0$ にあるトランシーバとただ2つのRN間の往復通信を必要とするが、 $R_0$ がRNに関して移動することを必要とする。これらの両方法では、通信の往復パターンは、全ての往復伝播時間が1次RNに位置する単一クロックから測定されることができることを意味する。システムの任意のその他の位置に高い正確性または同期化されたクロックは必要とされない。

【0029】対照的に、典型的なGPS受信機は4つの異なる送信機からの信号測定を必要とし、それによって受信機の位置を解く。通信の1方向性の特性により、GPS送信機は高い正確性と正確に同期化されたクロックをもたなければならない。各GPS受信機はその3次元位置を決定しながら、正確なローカル時間に対して解かなければならない。

【0030】本発明の付加的な利点は、これらの2つのアルゴリズムが衛星の位置を定める等式の実線形システムに対して直接的な閉じた形態の解であることであり、GPSは本質的な非線形問題の線形的近似に対して反復的な解を使用する。直接的な解は計算上さらに有効であり、高速で正確である。

【0031】[“3つの球”アルゴリズム] 3つの球アルゴリズムは先に計算された距離（ $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 等）および3以上のRN（ $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 等）の既知の位置を地球に関して衛星12の3次元のベクトル位置に変換する。アルゴリズムを簡潔に表すため以下の表記を使用する。

【0032】[ベクトル表記] 以下の全ての式では、上部のケースの符号は3つの成分ベクトルを示し、下部のケースの符号はスカラ（ベクトルではない）量を示している。

【0033】 $\cdot A \times B$  = ベクトルA、Bのクロス乗積（ベクトル乗積）であり、 $C = A \times B$ であるならば、Cの3つの成分は以下のようになる。

$$【0034】C_x = a_y b_z - a_z b_y$$

$$C_y = a_z b_x - a_x b_z$$

$$C_z = a_x b_y - a_y b_x$$

結果CはAとBに垂直であることを留意する。

【0035】 $\cdot A \cdot B = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$   
= ベクトルA、Bのドット積（スカラ積または内積としても知られている）。

【0036】 $\cdot A^2 = A \cdot A$  = ベクトルAの長さの二乗

であり、これは(3次元のピタゴラスの定理として)ベクトルの3つの成分(x、y、z)の二乗の合計に等しい。

【0037】・ $|A| = (A \cdot A)^{1/2}$  =ベクトルAの長さ

・ $R_j$  =地球の中心からj番目のRNの位置を指すベクトルであり、 $j = [1, 2, 3, \dots]$

・ $R_0$  =地球の中心から位置付けされる衛星位置を指すベクトル

・ $R_{jk} = R_j - R_k$  =点kから点jへのベクトル

・ $a_j = |R_{0j}| = j$  番目のRNから衛星までの距離測定

【2つの球の交差】衛星位置 $R_0$ はRN位置( $R_1, R_2, \dots$ )に関して決定される。以下の $R_0$ の幾何学および数学的偏差は座標の中心にある地球で直接行われるのではなく、RNの位置により定められる座標システムで行われる。この座標システムの選択はベクトル $R_{01}$ (既知の $R_1$ から未知の $R_0$ までを指す)を3つの相互に垂直な成分( $R_{p1}, R_{q1}, R_{r1}$ として示される)に分離する。この慎重に選択された座標システムでは、これらの各ベクトル成分は測定( $a_1, a_2, a_3$ )から直接(非反復的)に計算されることができる。これらの3つのベクトルの合計と1次RN( $R_1$ )の位置ベクトルの和は衛星( $R_0$ )の所望位置である。次式のように表記し、

$$R_0 = R_{0q} + R_{0p} + R_{01} + R_1$$

以下、中間点 $R_p$ と $R_q$ を空間中に位置付ける幾何学的プロセスと、これらの位置の導出された代数式について説明する。

【0038】図2は、 $R_1$ にある1次RN14と $R_2$ にある2次RNを含んだ平面を示している。またベクトル $R_{21} = R_2 - R_1$ も示しており、これは $R_1$ から $R_2$ を指向する。この測定 $a_1$ は $R_0$ の可能な位置を $R_1$ を中心とする半径 $a_1$ の球上の点に限定する。その球と図2の紙面との交差が半径 $a_1$ の円である。その円は $|R_{01}| = a_1$ と符号を付けられる。 $R_0$ はこの円上にあるが、図2で示されている平面の上またはその下に位置する可能性が大きい。

【0039】同様に、測定 $a_2$ は $R_0$ の可能な位置を $R_2$ を中心とする半径 $a_2$ の球上の点に限定する。その球と図2の紙面の交差が $|R_{02}| = a_2$ と符号を付けられる円である。 $R_0$ はこれらの両方の球上に存在しなければならないので、図2の平面における $R_0$ の可能な解の点のみが $R_b, R_c$ と符号を付された点であり、ここで2つの円が交差するが、この平面の上または下にもその他の可能な解の点が存在する。

【0040】前述の両方の球上に存在する全ての可能な点の位置を可視化するため、図2の図をゆっくりとフリップ(flip)し、ベクトル $R_{21}$ を移動しない方法でこれを行う。この図をゆっくりと回転する間に、平面の円が

3次元の球をたどり、 $R_b$ と $R_c$ が $R_0$ の可能な位置の円をたどることが観察される。この円はベクトル $R_{21}$ に垂直な別の平面に位置する。換言すると、2つの球の交差により限定される円は図2で示されている平面から直角の位置で目立つ(stick out)。

【0041】交差円の幾何学的構造を考慮して、前述の構造の位置を定める式を展開する。図3は図2の中心区域の拡大図であり、詳細が付加されている。 $R_1$ から $R_b$ までのベクトルは $|R_{b1}| = a_1$ で示され、 $a_1$ はその長さである。同様に、 $R_2$ から $R_b$ までのベクトルは $|R_{b2}| = a_2$ で示され、 $a_2$ はその長さである。

【0042】 $R_c$ から $R_0$ までのベクトル $R_{bc}$ はベクトル $R_{21}$ に垂直である。 $R_{bc}$ と $R_{21}$ の交差点は $R_p$ と示される。 $R_p$ のこの定義により $R_1, R_2, R_b$ の頂点を有する三角形を $R_1, R_p, R_b$ に頂点を有する1つの直角三角形と $R_2, R_p, R_b$ に頂点を有する別の直角三角形に分離することを可能にする。直角三角形の辺の長さはピタゴラスの定理、即ち $x^2 + y^2 = r^2$ により関連され、ここでxとyは2つの垂直辺の長さを表し、rは第3の辺の長さを表す。この定理を使用して、 $R_1$ と $R_2$ に関して $R_p$ の位置を決定する。

$$【0043】a_1^2 = R_{b1}^2 = R_{bp}^2 + R_{p1}^2$$

$$a_2^2 = R_{b2}^2 = R_{bp}^2 + R_{p2}^2$$

これらの2つの式の差は、

$$a_1^2 - a_2^2 = R_{p1}^2 - R_{p2}^2$$

$R_{p2} = R_{p1} - R_{21}$ に注目し、それ故、

$$R_{p2}^2 = R_{p1}^2 - 2R_{21} \cdot R_{p1} + R_{21}^2$$

これらの2つの式を組合わせて、 $a_1^2 - a_2^2 = 2R_{21} \cdot R_{p1} - R_{21}^2$ またはこれと同等の $R_{21} \cdot R_{p1} = (R_{21}^2 + a_1^2 - a_2^2) / 2$ である。

【0044】これは $R_{21} \cdot R_{p1}$ が、 $R_{21}^2 + a_1^2 - a_2^2$ の符号によって正または負であることを意味している。例えば、 $R_1$ が $|R_{02}| = a_2$ として示される球内にあり、 $a_1$ が $a_2$ よりも非常に小さいならば、 $R_{21} \cdot R_{p1} < 0$ である。 $R_{21} \cdot R_{p1}$ が正または負であっても、 $R_{21} \times R_{p1} = 0$ であり、2つのベクトルが常に平行または平行ではないことを意味している。両者の場合、 $R_1$ から交差円の中心までの長さのベクトルは次式により定められる。

$$【0045】[R_{p1} = R_{21} (R_{21}^2 + a_1^2 - a_2^2) / (2R_{21}^2)]$$

$R_{p1}$ を限定するこの式はこれより先の式とは異なる。前の式は一般的な数学的関係であり、部分的なキューは解の方向を指しているが、この式は右側の既知(測定または先に計算された)の量と、左側の単一の変数だけを含んでいるので、1組の既知の量と未知の量との単なる数学的関係を表すのではなく、1組の既知の量に関して左側の未知数を計算するための明示処理(暗黙的、帰納的、反復的ではない)を表す。このような明示処理式は、その他の式から弁別するため[]内にあり、これら



の式が導出される態様だけを説明している。特別な順序で評価されたこれらの全ての明示的な処理式のセットは衛星位置 $R_0$ を決定する処理手順を構成する。 $R_{p1}$ を知っているので、 $a_1^2$ の前の式から $R_{bp}^2$ を計算する。

$$【0046】 R_{bp}^2 = a_1^2 - R_{p1}^2$$

前述したように、 $R_b$ は $R_0$ に対する1つのみの可能な解であるが、まだ計算中に $a_3$ データを含んでいない。その付加的な情報なしでは、 $R_b$ と、図3の平面の上またはその下に位置する交差円上の任意のその他の点とを弁別しない。 $R_{bp}^2$ は交差円の半径の二乗であり、これはまた $R_{op}^2$ に等しい。

$$【0047】 [R_{op}^2 = a_1^2 - R_{p1}^2]$$

この計算ステップで、交差円について3つの問題の事柄、即ち、第1にその中心位置 $R_p = R_{p1} + R_1$ 、第2にその半径 $|R_{op}|$ 、第3に3次元空間でのその方向付け $R_{21} \cdot R_{op} = 0$ を知る。十分なベクトル解 $R_0 = R_{op} + R_p$ を得るために交差円上の角度位置 $R_0$ を決定しなければならない。その角度の決定は第3の測定を必要とする。

【0048】[座標系の構成] $R_0$ の角度位置を限定するため、測定される角度に関して1組の座標軸を限定する。 $x$ 軸として $R_1$ と $R_2$ を接続するラインを定め、 $x$ 方向の単位ベクトルを次式によって定める。

$$【0049】 [U_x = R_{21} / |R_{21}|]$$

(その固有の長さで任意のベクトルを分割すると単位ベクトル、即ち長さが1に等しいベクトルが得られる。)この $x$ 単位ベクトル( $U_x$ )は交差円の“単位垂直ベクトル”であり、これがその円を含む平面に垂直であることを意味する。

【0050】2つの平行(または逆向きに平行)なベクトルのクロス乗積はゼロである。 $R_3$ が $x$ 軸上に位置しないならば、 $R_{31}$ は $R_{21}$ および $U_x$ に対して平行(または逆平行)ではない。この場合、 $R_{21} = U_x \times R_{31}$ はゼロではなく、 $R_N$ を含む平面に垂直である。 $R_3$ が $x$ 軸上に位置するか、それに非常に近接しているならば、 $|R_{21}|$ はゼロであるか非常にゼロに近く、位置計算は不正確になる。使用される計算アルゴリズムにかかわらずこれは真であるが、このアルゴリズムはこの状態を明確に検出し、それによって適切な動作が取られ、計算結果は誤解がない。

【0051】 $R_1$ ではなく $R_p$ を参照して $R_{21}$ を表すことが時には便利である。これは次式のようになる。

$$【0052】 R_{31} = R_{3p} + R_{p1}$$

$$R_{21} = U_x \times R_{3p} + U_x \times R_{p1}$$

$U_x$ は $R_{21}$ と $R_{p1}$ に平行であり、それ故、 $U_x \times R_{p1} = 0$ である。この座標系の残りの2つの直交ベクトル( $U_y$ と $U_z$ )を以下のように定める。

$$【0053】 [R_{21} = U_x \times R_{3p}]$$

$$[U_z = R_{21} / |R_{21}|]$$

$$[U_y = U_z \times U_x]$$

$U_x$ 、 $U_z$ は垂直であり両者は1の長さであるので、 $U_x$ 、 $U_z$ のようにその固有の長さで $U_y$ を割算する必要はなく、それ故クロス乗積は1の長さである。

【0054】[球3との交差]測定 $a_3$ は $R_0$ が位置しなければならない別の球を限定する。図4で示されているように、点3が $x$ 軸上にないならば、この球は先に限定した2つの点の交差円と交差し、2つの点の一方は $x-y$ 平面の上であり、他方はその平面の下である。これらの交差点 $R_d$ と $R_e$ を示し、 $R_{de}$ は $U_z$ に平行であることに注目する。 $R_{de}$ と $x-y$ 平面( $U_x$ と $U_y$ を含む平面であり、また、図2、3で示されている平面である)との交差点を $R_q$ として示す。

【0055】 $R_d$ と $R_e$ を位置づける処理手順を開発する。衛星位置 $R_0$ が $R_d$ または $R_e$ のいずれか一方に等しい。これらのうちの1つが地球表面の下に位置するので、計算の最終段で適切なものを選択するのは難しくないので。

【0056】図4で示されているように、ベクトル $R_{dq}$ は $U_z$ に平行である。図3に類似するが点 $R_q$ が付加されている図5は、 $R_{p1}$ が $U_x$ に平行であり、 $R_{qp}$ が $U_y$ が平行であることを示している。これらの3つのベクトルの和、 $R_{d1} = R_{dq} + R_{qp} + R_{p1}$ は点 $R_1$ に関して点 $R_d$ の位置を限定する。

【0057】直角三角形 $d p q$ に対してピタゴラスの定理は $R_{dq}$ を2つの成分に分解し、それら2つの成分は $R_{dq}$ が $U_z$ (図4参照)に平行であり、 $R_{qp}$ が $U_y$ (図5参照)に平行であるように整列される。

$$【0058】 R_{dp}^2 = R_{dq}^2 + R_{qp}^2$$

$R_{d3}$ の分解は類似しているが、皺(wrinkle)が付加されている。図4で示されているように $U_z$ は $R_{q3}$ に垂直であり、それ故、 $R_{q3}$ は $z$ 成分をもたないが、 $R_{q3}$ は $x$ と $y$ の両方向にゼロではない成分を含んでもよい。これは先の段落で示したように $y$ 成分のみを有する $R_{qp}$ と対照的である。

$$【0059】 a_3^2 = R_{d3}^2 = R_{dq}^2 + R_{q3}^2$$

これらの2つの式の差は次式で得られる。

$$【0060】 a_3^2 - R_{dp}^2 = R_{q3}^2 - R_{qp}^2$$

$R_{q3} = R_{qp} + R_{p3}$ であることに留意し、それ故、 $R_{q3}^2 = R_{qp}^2 + R_{p3}^2 + 2 R_{qp} \cdot R_{p3}$

これらの最後の2つの式を結合すると次式が得られる。

$$【0061】 a_3^2 - R_{dp}^2 = R_{p3}^2 + 2 R_{qp} \cdot R_{p3}$$

$R_d$ は $R_0$ に対する可能な解の1つであり、それ故 $R_{dp}^2 = R_{op}^2$ であることに注目する。これは交差円の半径であり、それは先に計算した。これを先の式に代入すると次式が得られる。

$$【0062】$$

$$R_{qp} \cdot R_{p3} = (a_3^2 - R_{op}^2 - R_{p3}^2) / 2$$

2つの球の交差処理手順の類似の式として、ドット積 $R_{qp} \cdot R_{p3}$ は正または負である。同一の処理手順が両者に適用される。

【0063】 $[R_{qp} = U_y (a_3^2 - R_{op}^2 - R_{p3}^2) / (2U_y \cdot R_{p3})]$

$U_y \cdot R_{p3} = U_y \cdot R_{31}$ であることに注目する。この量は前述の式の分母に現れる。これがゼロであるならば、アルゴリズムは崩れる。これはこの特定の代数偏差のアーティファクトではなく、基本的な幾何学的制限である。 $U_y \cdot R_{31} = 0$ であるならば、点3はx軸に位置する。その場合、単位垂直ベクトルが $U_x$ である円上に $R_0$ が位置することだけを決定することができる。その円の半径 $|R_{op}|$ と、その中心位置 $R_0$ を決定することができるが、円周辺の $R_0$ の角度位置を決定しない。

【0064】第3のRNは、円筒対称を破るのに十分にx軸から離れて位置しなければならず、 $R_d$ 、 $R_e$ の角度位置を解き、その一方は $R_0$ に等しい。位置計算の正確度は第3のRNがx軸に接近するとき低下する。この解析を提案されたシステムの実際の軌道構造に適用して、測定エラーと最適状態ではないRN整列に直面してアルゴリズムの正確性を評価する。ほとんど全てのケースでは、 $U_y \cdot R_{31}$ は十分大きく、アルゴリズムは以下のように続くことができ、地球中心に関する点qの位置は次式のようになる。

【0065】 $[R_q = R_{qp} + R_{p1} + R_1]$

$R_{qp}$ を知ると、三角形dpq (図4参照) に対してピタゴラス定理を使用することができ、それによって $R_{dp}^2 = R_{dq}^2 + R_{qp}^2$ が得られ、これは衛星位置の2つの候補解を導く。

【0066】 $[|R_{dp}| = (R_{dp}^2 - R_{qp}^2)^{1/2}]$

$[R_d = R_q + U_z |R_{dp}|]$

$[R_e = R_q - U_z |R_{dp}|]$

2つの解はRNを含む平面の上と下に対称的に位置することに注目する。RNは全て地球表面上であるので、これらの解の1つは地球の内側または反対側に位置する。仮想的に全てのケースでは、解 $R_d$ または $R_e$ のうちの一方のみがデータを提供する全てのRNの視野内にあり、それ故、アルゴリズムは疑似解を拒否し、その他方を $R_0$ として識別することができる。

【0067】[球および同心円錐の交差] 2つのRNのみが衛星の視野内であり、衛星が地球に関して静止していないならば、丁度前述した2つの球交差で行ったように、1つのRNからの距離および距離変化率の測定は衛星の可能な位置を交差円に限定することができる。この場合、交差円は、頂点が球の中心に位置されている円錐と球との交差に対応する。この交差円が新しい処理手順により限定された後、衛星位置を解くための3つの球位置付けアルゴリズムで使ったのと同一の球-円交差処理を適用することができる。

【0068】球および同心円錐アルゴリズムでは、距離測定は可能な解の点を球表面に再度制限する。新しい切り面は、距離変化率測定が解の点を、頂点が同じ球の中心に位置する円錐にさらに限定するものである。円錐は

球と同心であるので、それらの交差曲線は円である。このような円は地球の球体上の一定の緯線に類似するが、しかしながら、その方向は衛星の動作により限定され、地球に固定されない。

【0069】衛星がRNに関して均一で線形の運動をしているならば、その固有の長さにより割算される相対的な速度ベクトル( $V_{01}$ )は円錐の軸( $U_x$ である)を限定し、半径対全体の相対的な速度の比は円錐角度 $= \arccos(v_r / |V_{01}|)$ を決定するが、実際の状態はやや複雑である。本発明の問題としている衛星と地球表面上のRNは慣性空間に関してほぼ均一で円形の動作をする。

【0070】この場合に付加された複雑性にかかわらず、閉じた形態の解を獲得する。楕円衛星軌道の一般化はこのアルゴリズムのありふれた拡張であり、詳細に説明しないが、本発明の技術的範囲内に含まれるものと考えられるべきである。衛星とRNとの両者は一定の高度の軌道に沿って移動する。RNの場合には、これは地球表面の回転によるものである。 $V_j = W_j \times R_j$ として任意の円形動作の速度を表すことができ、それ故、

$$V_{01} = W_0 \times R_0 - W_1 \times R_1$$

ここで $W_j$ はベクトル角度速度である。地球表面に固定されたRNでは、 $W_1$ は地球の角度速度と同一である。衛星が静止衛星ではなく、ほぼ円形である軌道中を移動中であるならば、計算プロセスの時間スケールで、 $W_0$ が一定であると考えられる。

【0071】前述したように、システムは信号伝播時間から1次RNと衛星( $a_1$ )との間の距離と、距離測定の時間歴およびドップラシフトから半径方向速度

( $v_r$ )を測定する。これらのスカラー測定は以下のように衛星のベクトルの位置と速度に関連する。 $V_{01} \cdot R_{01} = v_r \cdot a_1$

距離および距離変化速度測定は $V_{01} \cdot R_{01}$ を限定するが、 $R_0$ は知られておらず、 $R_{01}$ と $V_{01}$ との両者の定義に含まれるので、クロス乗積から $R_0$ を解くために幾つかのベクトル代数を行わなければならない。

$$[0072] V_{01} \cdot R_{01} = (W_0 \times R_0 - (W_0 - W_{01}) \times R_1) \cdot R_{01} = (W_0 \times R_{01} + W_{01} \times R_1) \cdot R_{01}$$

$W_0 \times R_{01}$ は $R_{01}$ に垂直であり、 $W_{01} \times R_1$ は $R_{01}$ に垂直な成分と平行な成分との両者を有する。ドット積( $W_0 \times R_{01}) \cdot R_{01}$ はゼロであり、それ故、 $V_{01} \cdot R_{01} = (W_{01} \times R_1) \cdot R_{01}$ である。

【0073】衛星の角度速度( $W_0$ )は高い正確性で知られ、測定の時間において知られていないことはその正確な位置( $R_0$ )であると仮定する。地球の角度速度( $W_1$ )と、1次RNの位置( $R_1$ )は知られているものと仮定される。このことはベクトル $W_{01} \times R_1$ が知られており、x単位ベクトル( $U_x$ )をこの距離および距離変化率アルゴリズムで限定するためにこのベクトルを

使用することを意味している。 $R_{21}$ が3つの球のアルゴリズムで行うのと同じ役目をここで行う。

【0074】 $[U_x = W_{01} \times R_1 / |W_{01} \times R_1|]$   
 交差円の中心は $R_p$ で示され、このアルゴリズムでは、  
 $[R_{p1} = U_x (R_{01} \cdot U_x) = U_x \cdot a_1 \cdot v_x / |W_{01} \times R_1|]$

3つの球のアルゴリズムにおけるように、 $[R_{0p}^2 = a_1^2 - R_{p1}^2]$ これらの式、即ち距離+1つのRNからの距離変化率測定により、位置、方向、交差円の半径が第2のRNを使用せずに与えられる。交差円を一度獲得すると、2つの球または球および同心円方法のいずれか一方から、衛星位置を得るためその円と最終的な球が交差する同一方法を使用することができる。距離および距離変化率方法では、最終的な球交差方法の“第3のRN”に対する全ての基準は、第3のRNが要求されないため、実際に第2のRNを意味する。 $R_3 = R_2$ と $a_3 = a_2$ を割当てた後、距離および距離変化率アルゴリズム

は3つの球のアルゴリズムと同一方法で行われる。

【0075】本発明を実行する最良のモードを詳細に説明したが、本発明が関連する当業者は特許請求の範囲内に限定されているように本発明を実施するための種々の代わりの設計および実施形態を認識するであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の方法およびシステムを使用した通信システムの図。

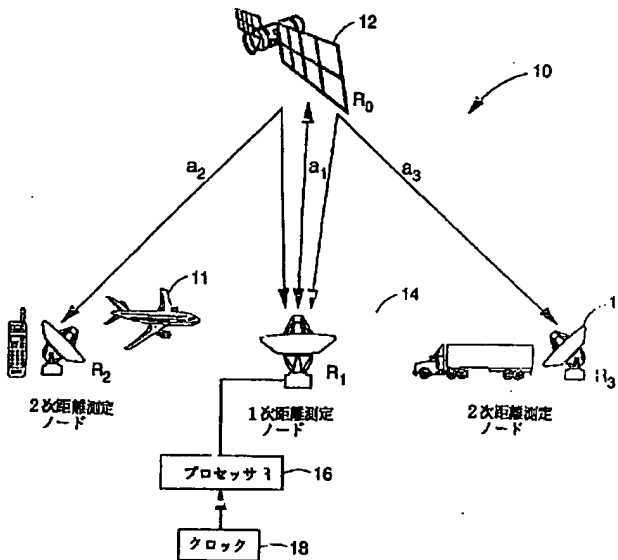
【図2】本発明の2つの方向距離測定ノードを含んでいる幾何学的平面を示した図。

【図3】図2の平面を拡大した説明図。

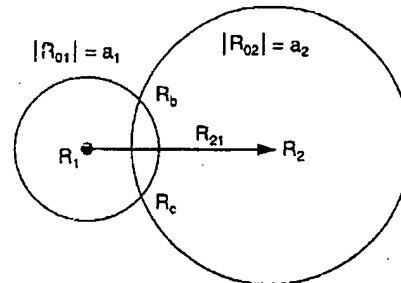
【図4】図2のX-Y平面の上部と下部に延在する交差した円を示した図。

【図5】x、y単位ベクトルと、位置決定における後段のステップと関連する $R_q$ で示された点を付加したことを除いて図3と類似する図。

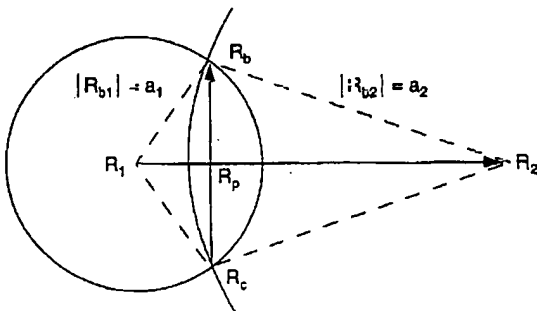
【図1】



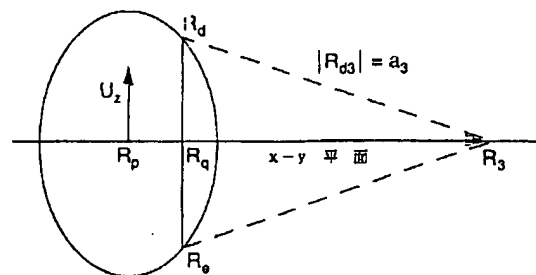
【図2】



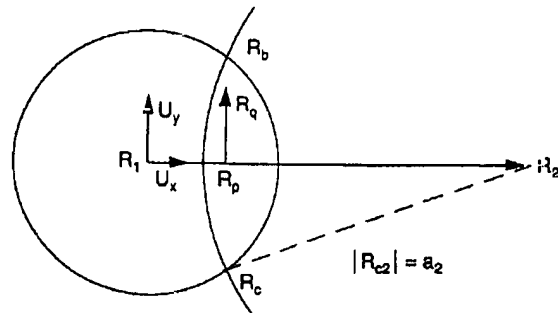
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 カー・ダブリュー・ユン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
90503、トーランス、ナードット・ストリ  
ート 4738

(72)発明者 ウィリアム・ジェイ・ナナン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
90266、マンハッタン・ビーチ、フィフ  
ス・ストリート 1505

(72)発明者 デイビッド・シー・チェン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
90275、パロス・ベルデス・エステーツ  
ビア・ズマヤ 1228

(72)発明者 ブルース・イー・シャマン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
90293、ブラヤ・デル・レイ、ウェスト  
エイティース・ストリート 7942